

Document made available under the Patent Cooperation Treaty (PCT)

International application number: PCT/IB05/000886

International filing date: 05 April 2005 (05.04.2005)

Document type: Certified copy of priority document

Document details: Country/Office: PT
Number: 103101
Filing date: 05 April 2004 (05.04.2004)

Date of receipt at the International Bureau: 30 September 2005 (30.09.2005)

Remark: Priority document submitted or transmitted to the International Bureau in compliance with Rule 17.1(a) or (b)



World Intellectual Property Organization (WIPO) - Geneva, Switzerland
Organisation Mondiale de la Propriété Intellectuelle (OMPI) - Genève, Suisse

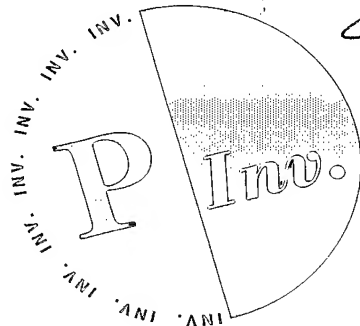
INSTITUTO NACIONAL DA PROPRIEDADE INDUSTRIAL

**CERTIFICADO DE PEDIDO
DE PATENTE DE INVENÇÃO**

Certifica-se que os documentos em anexo estão conforme o original do pedido de patente de invenção n.º 103101.

O pedido foi apresentado no INPI no dia 5 de Abril de 2004.

Instituto Nacional da Propriedade Industrial, 30 de Agosto de 2005




*Pelo Presidente do Conselho de Administração
do Instituto Nacional da Propriedade Industrial*



**INSTITUTO NACIONAL
DA PROPRIEDADE INDUSTRIAL**

Campo das Cebolas - 1149-035 LISBOA - Portugal
Telef.: +351 21 881 81 00 - Linha Azul: 808 20 06 89
Fax: +351 21 886 00 66 - +351 21 887 53 08
E-mail: inpi@mail.telepac.pt

*** Tratado em computador
*** Tratado em computador

INSTITUTO NACIONAL DA PROPRIEDADE INDUSTRIAL



Campo das Cebolas - 1149-035 Lisboa - Portugal

Tel: +351 218818100 / Linha Azul: 808 200689 / Fax: +351 218875308 / Fax: +351 218860066 / E-mail: atm@inpi.pt / www.inpi.pt

10691 NP	0199	CÓDIGO	2004/04/05-10:14:45	MODALIDADE	PROCESSO RELACIONADO
10691 P	0199		2004/04/05-10:14:45	PAT	103101 S

PEDIDO DE PATENTE, MODELO DE UTILIDADE OU DE TOPOGRAFIA DE PRODUTOS SEMICONDUTORES

1 <input checked="" type="checkbox"/> REQUERENTE <input type="checkbox"/> INVENTOR		NACIONALIDADE	portuguesa	FLS. CONT.?	<input checked="" type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não		
Nome		FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO			Código	396987	
Endereço		Rua Doutor Roberto Frias, s/nº.			Código Postal	4200-465 Porto	
Tel		Fax			E-mail		
Actividade (CAE)		NIF					
Mandatário		PEDRO GIL DA SILVA PELAYO DE SOUSA HENRIQUES			Código	87 A	
2 MODALIDADE / TIPO DE PEDIDO							
<input checked="" type="checkbox"/> Patente <input type="checkbox"/> Modelo de Utilidade <input type="checkbox"/> Pedido reformulado							
<input checked="" type="checkbox"/> Via Nacional <input type="checkbox"/> com exame							
<input type="checkbox"/> Via Europeia <input type="checkbox"/> sem exame							
<input type="checkbox"/> Via PCT							
<input type="checkbox"/> Topografia de Produtos semicondutores							
<input type="checkbox"/> Pedido divisionário							
<input type="checkbox"/> Transformação de pedido de patente europeia							
Nº pedido _____ Data _____							
<input type="checkbox"/> Antecipação de publicação							
<input type="checkbox"/> Adiamento de publicação							
<input type="checkbox"/> Requeveu patente / Modelo de utilidade para a presente invenção							
Número do pedido inicial _____							
Data do pedido inicial _____							
3 REIVINDICAÇÃO DE PRIORIDADE(S)			4 HOUVE DIVULGAÇÃO ANTERIOR				
Data do pedido	Pais de origem	Nº do pedido	<input type="checkbox"/> Sim Data _____				
			<input type="checkbox"/> Não				
5 EPÍGRAFE OU TÍTULO							
Processo de produção de peças plásticas por reacção injeção e moldagem, e respectiva máquina							
6 INVENTOR							
Nome						português	
JOSÉ CARLOS BRITO LOPES						Código	540231
Endereço						residente em Portugal	
Código Postal							
Tel						Fax	
E-mail							
Actividade (CAE)						NIF	
7 DOCUMENTOS ANEXOS						8 TAXAS	
Formato						Importância	
Papel						110 00 €	
Electrónico						40 00 €	
Resumo						Pedido	
<input checked="" type="checkbox"/> 2 fls. <input type="checkbox"/>						Reivindicação a partir da 1ª (N.º de 4)	
Reivindicações						Publicação	
<input checked="" type="checkbox"/> 6 fls. <input type="checkbox"/>						Exame	
Descrição						Recepção e Transmissão (PCT)	
<input type="checkbox"/> fls. <input type="checkbox"/>						Outras	
Desenhos						TOTAL	
<input type="checkbox"/> fls. <input type="checkbox"/>						150 00 €	
Fig. Publicação						POR EXTENSO: Cento e cinquenta euros	
<input checked="" type="checkbox"/> 1 fls. <input type="checkbox"/>							
Outros							
<input type="checkbox"/> fls. <input type="checkbox"/>							
Exposição síntese de descrição e de							
senhais (16 folhas)							
9 ASSINATURA DO REQUERENTE OU MANDATÁRIO				RESERVADO AO INPI			
B.I. 7301774				Pedro Gil da Silva Pelayo de Sousa Henriques			
PEDRO GIL DA SILVA PELAYO DE SOUSA HENRIQUES				Rua de Sá da Bandeira, 706-6º. Dto., 4000-432 PORTO			
AGENTE OFICIAL DA PROPRIEDADE INDUSTRIAL							

DIGITALIZADO

INSTITUTO NACIONAL DA PROPRIEDADE INDUSTRIAL



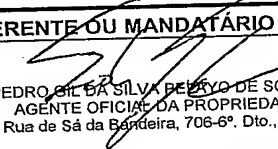
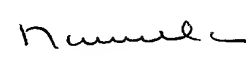
** Tratado em computador

Campo das Cebolas - 1149-035 Lisboa - Portugal

Tel: +351 218818100 / Linha Azul: 808 200689 / Fax: +351 218875308 / Fax: +351 218860066 / E-mail: atm@inpi.pt / www.inpi.pt

Nº	CÓDIGO	DATA E HORA RECEPÇÃO	MODALIDADE	PROCESSO RELACIONADO
10691 P	0199	2004/04/05-10:14:45	PAT	103101 S

FOLHA DE CONTINUAÇÃO PARA REQUERENTES E/OU INVENTORES

1	<input checked="" type="checkbox"/> REQUERENTE <input type="checkbox"/> INVENTOR	NACIONALIDADE
Nome <u>JOSÉ CARLOS BRITO LOPES</u>		Código <u>540231K</u>
Endereço <u>Rua Doutor Roberto Frias, s/nº.</u>		Código Postal <u>4200-465</u> Porto
Tel _____ Fax _____ E-mail _____		NIF _____
Actividade (CAE) _____		
2	<input type="checkbox"/> REQUERENTE <input checked="" type="checkbox"/> INVENTOR	NACIONALIDADE
Nome <u>RICARDO JORGE NOGUEIRA DOS SANTOS</u>		Código <u>550429T</u>
Endereço <u>residente em Portugal</u>		Código Postal _____
Tel _____ Fax _____ E-mail _____		NIF _____
Actividade (CAE) _____		
3	<input type="checkbox"/> REQUERENTE <input checked="" type="checkbox"/> INVENTOR	NACIONALIDADE
Nome <u>ANDRÉ FERNANDO TATO MACEDO TEIXEIRA</u>		Código <u>550432M</u>
Endereço <u>residente em Portugal</u>		Código Postal _____
Tel _____ Fax _____ E-mail _____		NIF _____
Actividade (CAE) _____		
4	<input type="checkbox"/> REQUERENTE <input checked="" type="checkbox"/> INVENTOR	NACIONALIDADE
Nome <u>MÁRIO RUI PINTO FERREIRA NUNES COSTA</u>		Código <u>550435R</u>
Endereço <u>Residente em Portugal</u>		Código Postal _____
Tel _____ Fax _____ E-mail _____		NIF _____
Actividade (CAE) _____		
5	<input type="checkbox"/> REQUERENTE <input type="checkbox"/> INVENTOR	NACIONALIDADE
Nome _____		Código _____
Endereço _____		Código Postal _____
Tel _____ Fax _____ E-mail _____		NIF _____
Actividade (CAE) _____		
6 ASSINATURA DO REQUERENTE OU MANDATÁRIO		RESERVADO AO INPI
 PEDRO SILVA PEREIRA DE SOUSA HENRIQUES AGENTE OFICIAL DA PROPRIEDADE INDUSTRIAL Rua de Sá da Bandeira, 706-6º, Dto., 4000-432 PORTO B.I. <u>7301774</u> Data <u>1998/09/07</u>		

DESCRIÇÃO

Processo de produção de peças plásticas por reacção
injecção e moldagem, e respectiva máquina

Domínio técnico / aplicações

Esta invenção concerne um processo de produção de peças plásticas por Reacção Injecção e Moldagem (dito RIM), bem como o correspondente equipamento para fabrico de peças plásticas por moldagem, utilizando reacções de polimerização com cinéticas rápidas (poliuretanos, poliureias, silicone, poliamidas, poliésteres, polímeros vinílicos e acrílicos - ver Macosko e Lee (1978)). Este equipamento mistura os monómeros, catalizadores, iniciadores, solventes e aditivos que iniciam uma reacção de polimerização e seguidamente são injectados num molde. O campo desta invenção é o do aumento do grau e qualidade da mistura das correntes iniciais antes de serem injectadas no molde.

O aumento da qualidade e grau da mistura, com as alterações propostas nesta patente, permite alargar o domínio desta técnica aos seguintes campos:

- produção de plásticos de qualidade óptica com aplicações em sectores como a medicina e a indústria automóvel;
- uso de polimerizações em que seja necessário misturar componentes com grandes disparidades de caudais, como o caso dum iniciador e um monómero em polimerizações aniónicas (ver Vuillemin e Nowe (1996) e Vuillemin e Nowe (1999)).

A aplicação da presente invenção não se restringe a máquinas RIM, abrangendo todo e qualquer tipo de misturador/reactor de jactos que venha a adoptar qualquer uma das soluções técnicas aqui propostas com o objectivo de aumentar o grau e a qualidade da mistura.

Estado da arte

O processo RIM, tal como utilizado na produção de poliuretanos e outros polímeros, encontra-se largamente difundido, mas os mecanismos subjacentes ao seu funcionamento são mal conhecidos. O facto do coração deste processo ser a injeção de dois jactos opostos com velocidades compreendidas entre 10 e 100 m/s, em câmaras cilíndricas com diâmetro típico de 10 mm, apresenta enormes dificuldades à compreensão e conhecimento dos mecanismos de mistura. Em contrapartida, sabe-se que a mistura influencia de forma crítica as propriedades dos polímeros produzidos no processo RIM (Kolodziej, et al. (1982) e Kolodziej, et al. (1986)). No processo RIM em condições de má mistura verifica-se a ocorrência de fenómenos como a existência de *pontos húmidos*, devido a fracções do monómero não polimerizadas, e heterogeneidade das características físicas do polímero.

Um dos factos conhecidos sobre o processo é a existência de dois regimes de escoamento distintos na câmara de mistura (Teixeira (2000) e Santos (2003)):

- Um regime onde a mistura dos dois monómeros injectados separadamente na câmara é praticamente inexistente: caracterizado pela estacionaridade do escoamento.

- Um regime de escoamento caótico, em que há formação de vórtices, que promovem a mistura dos reagentes e fortes oscilações dos jactos.

Os referidos problemas de mistura neste processo devem-se à operação do reactor em regime de escoamento estacionário, mesmo que apenas durante curtos períodos.

Sobre as condições de operação e de projecto que favoreçam a obtenção de regimes de escoamento caótico, o único facto firmemente estabelecido é que para fluidos com viscosidade acima dos 20 mPa.s e razão das energias cinéticas dos jactos igual a um, a transição entre os dois regimes ocorre a um número de Reynolds crítico, de 120 (Santos (2003)), em que o número de Reynolds é baseado nos injectores e definido como:

$$Re = \frac{\rho v_{inj} d}{\mu}$$

em que ρ e μ são a massa volúmica e a viscosidade do fluido, respectivamente, d é o diâmetro hidráulico dos injectores e v_{inj} a velocidade superficial nos injectores. Experimentalmente verificou-se que mesmo acima do número de Reynolds crítico o escoamento pode encontrar-se em estado estacionário durante curtos períodos.

Devido ao pouco conhecimento existente sobre os mecanismos de mistura e as condições que os favorecem, o projecto das câmaras de mistura para o processo RIM é baseado essencialmente na experiência do projectista e em abordagens de tentativa/erro. Algumas das tentativas para melhorar a mistura em máquinas RIM baseiam-se no acoplamento de obstáculos na câmara de mistura (ver por exemplo Wallner (1987) e Wallner (1988)). A orientação dos jactos também foi proposta por forma a aumentar a

homogeneidade da mistura à saída da câmara de mistura (ver Macosko e McIntyre (1984), Decker (1993) e Nenncker (1996)). O aumento da turbulência dos jactos foi também proposto por Reilly e Michels (1989), pela introdução de um placa perfurada à saída dos injectores. Configurações geométricas para sistemas químicos específicos, como, por exemplo, o dos poliuretanos (ver Schulte, et al. (2001)), foram também avançadas.

Um estudo de 10 anos, efectuado na Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (Teixeira (2000) e Santos (2003)), aplicando as mais avançadas técnicas para caracterização do escoamento, permitiu o conhecimento da hidrodinâmica neste reactor e da influência dos vários factores. Neste estudo demonstrou-se a capacidade de obtenção de elevada homogeneidade da mistura dos monómeros reactivos neste processo, numa câmara sem obstáculos e de jactos opostos, tendo-se verificado, em particular, que o mecanismo de formação de vórtices determina o valor da *frequência de oscilação natural* dos jactos (ver Santos (2003)). Foi também verificado que a má mistura neste processo é principalmente devida a condições operatórias.

As conclusões do estudo hidrodinâmico estão subjacentes à presente invenção cujas principais características, contudo, só puderam ser ulteriormente determinadas, mediante a busca de meios e procedimentos concretos visando a aplicação real e a exequibilidade em ambiente industrial, bem como as simulações e ensaios correspondentes. Tal é assim, tanto para as características da máquina da invenção, designadamente a nível da configuração geométrica da câmara de mistura e/ou dos injectores, como em termos da operação do processo. Em qualquer dos casos, as características da invenção visam máquinas ou equipamentos, nomeadamente máquinas RIM, e

processos de mistura/reacção de jactos, designadamente processos de Reacção, Mistura e Injecção, que operem garantidamente em regimes de escoamento com elevada eficiência de mistura.

Descrição da invenção

De acordo com a invenção, a abordagem do problema técnico (aumento da eficiência - em grau e homogeneidade - da mistura/reacção) é feita mediante o recurso à avaliação da pulsação, medindo dinamicamente a pressão, e/ou à introdução artificial de uma pulsação no escoamento - a qual se combina com a pulsação natural do escoamento em regime caótico - medição e ou introdução dessas que ocorrem preferencialmente a montante dos injectores.

Segundo a invenção, para além de concretizações do processo que recorrem individualmente a um desses modos operatórios relacionados, está prevista uma concretização que recorre a ambos em simultâneo, assim como uma outra em que a pulsação introduzida artificialmente é ajustada - em frequência e ou amplitude - por meios automáticos, em função da medição dinâmica feita da pressão.

Concretizações preferenciais preconizam uso de transdutores de pressão diferencial, para a medição dinâmica da pressão, e o emprego, para a pulsação introduzida artificialmente, de frequências múltiplas ou sub-múltiplas da frequência natural do escoamento.

Por outro lado, a invenção respeita também a uma máquina ou equipamento para implementação do processo anteriormente descrito, estando previstos, em particular, para além de uma câmara de mistura provida de pelo menos dois injectores opostos, meios de medição dinâmica da

pressão e/ou meios de introdução de determinada frequência e amplitude impostas nos jactos dos injectores, podendo estes ter como entrada os resultados daquela medição, com vista ao ajuste automático do regime do escoamento.

Do mesmo modo, estão também previstas configurações específicas da câmara e/ou dos injectores, quanto a estes seja em termos da correspondente forma, seja do seu número e posicionamento, estado previstas, em particular, concretizações com base em dois injectores opostos associados a um injector suplementar.

Câmaras prismáticas e injectores rectangulares, assim como câmaras cilíndricas e injectores alongados segundo uma direcção transversal à do eixo da câmara, são exemplos de configurações preferenciais previstas.

Descrição dos desenhos

As figuras anexas, apresentadas a título exemplificativo e não limitativo, ilustram a máquina segundo a invenção, bem como o correspondente processo, e, em particular, algumas das suas concretizações preferenciais. Assim temos:

- **Figura 1:** Esquema duma câmara de mistura duma máquina RIM com: uma câmara de mistura e reacção, com dois injectores opostos, um terceiro injector, um transdutor de pressão e dois dispositivos para pulsação dos jactos.
- **Figura 2:** Esquema duma câmara de mistura duma máquina RIM com um pistão de limpeza, circuito de recirculação e um terceiro injector com o respectivo circuito de alimentação.

- **Figura 3:** Câmara de mistura cilíndrica com injectores alongados.
- **Figura 4:** Câmara de mistura prismática rectangular.
- **Figura 5:** Pormenor da câmara de mistura cilíndrica na zona dos injectores opostos.
- **Figura 6:** Algumas geometrias possíveis para injectores alongados.

Descrição detalhada da invenção

Seguidamente, faz-se uma descrição mais detalhada da presente invenção, com base nas citadas figuras, onde os elementos aí expressamente referenciados são:

- 1 - câmara de mistura e reacção;
- 2,3 - injectores opostos;
- 4 - terceiro injector;
- 5 - transdutor de pressão;
- 6 - meios de introdução de pulsação;
- 7 - pistão de limpeza;
- 8 - circuito de recirculação;
- 9 - circuito de alimentação do terceiro injector;
- d_1 - dimensão, do injector alongado, paralela à direcção do eixo longitudinal da câmara 1;
- d_2 - dimensão, do injector alongado, transversal à direcção do eixo longitudinal da câmara 1;

$$r_2 - d_2/2$$

A máquina segundo a presente invenção compreende, como se mostra na Figura 1, uma câmara (1) de mistura e reacção, de jactos opostos (2, 3), posicionados a uma distância do topo fechado da câmara aproximadamente igual a metade do diâmetro da câmara. A câmara de mistura e reacção é um canal em que uma das extremidades é fechada por um pistão (7), para limpeza da câmara e paragem do processo, como se mostra na Figura 2, e a outra extremidade é uma saída aberta para um molde (não representado). A invenção contém alterações aos procedimentos normalmente usados neste tipo de processo e às geometrias tradicionais, como a usada, por exemplo, em Wingard e Leidal (1978).

Segundo a invenção, propõe-se um procedimento para controlo do processo a partir da leitura dinâmica da pressão a montante dos injectores, por exemplo com um transdutor de pressão diferencial (5), como esquematizado na Figura 1. Como a formação de vórtices com oscilação dos jactos não ocorre em regime de escoamento estacionário, a leitura dinâmica da pressão permite determinar em que regime se encontra o escoamento no interior da câmara (1).

Propõe-se também a pulsação dos jactos através da indução de uma frequência de oscilação do caudal dos jactos. A indução de oscilações nos jactos permite operar o reactor garantidamente a regimes de escoamento associados a uma alta eficiência de mistura.

Propõe-se ainda, a título preferencial, a indução de oscilações dos jactos com frequências múltiplas da *frequência de oscilação natural* dos jactos, que forcem a formação de vórtices de menores dimensões, permitindo redução das escalas da mistura.

Os reactores tradicionais de jactos opostos apresentam graves deficiências operatórias para reacções em que as razões de caudais dos reagentes são demasiado díspares, como, por exemplo, no caso das polimerizações aniónicas, em que o monómero é misturado com um iniciador. Com o objectivo de alargar a gama de aplicações destes reactores, propõe-se, segundo a invenção, que: para razões de caudais entre as correntes de alimentação superiores a 10, o reagente com maior caudal, seja injectado em iguais quantidades por cada um dos injectores opostos (2 e 3); e o reagente com menor caudal seja introduzido por um terceiro injector (4). O terceiro injector deverá estar localizado na região de impacto dos jactos opostos. As Figuras 1 e 2 apresentam um esquema para implementação desta proposta, em que um dos reagentes é dividido pelos dois injectores opostos e o outro injectado no ponto de impacto dos jactos opostos.

De acordo com a invenção, propõe-se também uma alteração à geometria da câmara (1), para uma câmara prismática rectangular, Figura 4, com dois injectores (2, 3) opostos que se prolongam ao longo de toda a largura da face da câmara (1), ou seja, da dimensão cuja direcção é ortogonal à do eixo longitudinal da dita câmara. Para esta geometria a equalização da energia cinética dos jactos opostos faz-se pela razão das aberturas dos injectores, d_1 , Figura 6.

Por outro lado, para o caso das câmaras cilíndricas, propõe-se a utilização de injectores (2, 3) alongados na direcção normal ao eixo da câmara de mistura, como se pode ver na Figura 5, em substituição dos tradicionais injectores circulares. Algumas configurações geométricas para injectores (2, 3) alongados são apresentadas na Figura 6.

Os injectores (2, 3) alongados devem estar centrados e alinhados, e ter a mesma dimensão d_2 ($r_2=d_2/2$), no sentido normal ao eixo da câmara (1), ver Figuras 5 e 6. Para equalizar a energia cinética dos jactos é alterada a dimensão do injector com a mesma direcção do eixo da câmara de mistura, d_1 .

Inovação e vantagens do invento

Os regimes de escoamento caóticos estão associados a fortes oscilações dos jactos, com frequências típicas que dependem da geometria da câmara e do caudal de injeção. As oscilações dos jactos provocam flutuações da pressão nos injectores, pelo que a leitura da pressão a montante dos injectores, e a determinação da frequência das suas oscilações, podem ser usadas para aferir o regime de escoamento em que o reactor se encontra a operar. A aferição do regime de escoamento permite corrigir as condições operatórias do processo, que são a principal causa da ocorrência de regimes de escoamento estacionário na câmara (1) de mistura e reacção, mesmo para números de Reynolds superiores ao número de Reynolds crítico.

A alimentação pode também ser pulsada por forma a forçar as oscilações do escoamento garantindo a operação do reactor com alta eficiência de mistura, ou seja, em regime de escoamento caótico. A pulsação dos jactos também promove a eliminação dos períodos transientes de escoamento estacionário que se observam experimentalmente.

Usando múltiplos da frequência de oscilação natural dos jactos é possível quebrar as estruturas típicas do escoamento reduzindo as escalas da mistura e consequentemente aumentando a homogeneidade da mistura.

Em certas aplicações as razões entre reagentes são demasiado díspares para a utilização deste misturador. A injeção do reagente com maior caudal, igualmente distribuído pelos dois jactos opostos, permite obter um escoamento com uma forte dinâmica de mistura, no seio do qual é injectado o reagente de menor caudal. A injeção é feita no ponto de impacto dos jactos onde a dinâmica do escoamento é mais forte. Este esquema permite uma grande homogeneidade do escoamento pelo que os tamanhos das macromoléculas no final do processo devem apresentar uma distribuição muito estreita, logo um material final com grande homogeneidade de características.

A divisão dum dos reagente pelos injectores opostos, com o balanceamento perfeito das condições em ambos os injectores, permite garantir a operação do reactor em regime caótico a números de Reynolds acima dos 120. Adicionalmente a diferença de pressões entre os injectores opostos é anulada, o que permite: dispensar os restritores de caudal; e operar o processo a baixas pressões.

As câmaras de mistura e reacção prismáticas rectangulares com a configuração proposta na presente invenção, apresentam as seguintes vantagens, quando comparadas com câmaras cilíndricas de injectores circulares:

- Para o mesmo número de Reynolds baseado nos injectores a câmara prismática proposta apresenta menores tempos de passagem do fluido e mais rápido enchimento do molde. A diminuição do tempo de passagem e do tempo de enchimento do molde permite que o grau de conversão do polímero durante o processo seja menor, logo a viscosidade é menor. A operação a mais baixas viscosidades é vantajosa para o enchimento do molde;

- Os injectores rasgados ao longo de toda a largura da face também permitem que uma maior região da câmara de mistura seja ocupada pelo impacto dos jactos opostos, que é o mecanismo que origina toda a dinâmica de mistura nestes reactores (ver Teixeira, 2000);
- A configuração proposta para a câmara de mistura prismática, apresenta, para o mesmo número de Reynolds baseado nos injectores, números de Reynolds na câmara de mistura mais altos, logo expandindo as regiões de mais forte dinâmica do escoamento (ver Teixeira, 2000 e Santos, 2003);
- O facto de os injectores não serem circulares permite que ao serem alterados para equalização da energia cinética dos jactos opostos se mantenha a zona de impacto dos jactos ao longo de toda a linha d_2 do injector.

Neste escoamento os vórtices têm um eixo de rotação perpendicular ao plano definido pelo eixo da câmara de mistura e pelo centro dos injectores. A câmara prismática rectangular tem paredes normais ao eixo de rotação dos vórtices, o que impede o crescimento dos vórtices pelo mecanismo de *vortex stretching*. O mecanismo de *vortex stretching* é responsável pela dissipação dos vórtices, pelo que a anulação deste mecanismo permite que os vórtices se mantenham em evolução na câmara até zonas mais afastadas do ponto de impacto dos jactos. Como os vórtices são o principal mecanismo de mistura, a câmara prismática promove o aumento da dinâmica de mistura relativamente às câmaras cilíndricas.

A introdução de injectores alongados em câmaras de mistura cilíndricas pode apresentar algumas das vantagens das

câmaras de mistura prismáticas rectangulares relativamente às câmaras cilíndrica de injectores circulares:

- Menores valores de tempo de passagem para o mesmo número de Reynolds baseado nos injectores;
- Maior percentagem do volume da câmara ocupada pela zona de impacto dos jactos;
- Maiores números de Reynolds na câmara de mistura, para o mesmo valor do número de Reynolds baseado nos injectores.

Bibliografia

- Decker, H.W., *United States Patent Office*, US 5 270 013, 1993.
- Kolodziej, P., Macosko, C.W. e Ranz, W.E., *Polymer Engineering and Science*, 1982, 22, 388-392.
- Kolodziej, P., Yang, W.P., Macosko, C.W. e Wellinghoff, S.T., *Journal of Polymer Science*, 1986, 24, 2359-2377.
- Macosko, C.W. e Lee, L.J., *United States Patent Office*, US 4 189 070, 1978.
- Macosko, C.W. e McIntyre, D.B., *United States Patent Office*, US 4 473 531, 1984.
- Nenncker, G.H., *United States Patent Office*, US 5 498 151, 1996.
- Reilly, B.J. e Michels, R., *United States Patent Office*, US 4 840 556, 1989.
- Santos, R.J. *Mixing Mechanisms in Reaction Injection Moulding. An LDA/PIV Experimental Study and CFD Simulation*. PhD Dissertation, Universidade do Porto, Porto, 2003.

- Schulte, K., Krippel, K., Friederichs e Weber, H.U., *United States Patent Office*, US 6 297 342, 2001.
- Teixeira, A.M. *Escoamento na Cabeça de Mistura de uma Máquina RIM (Flow in a RIM Machine Mixing Head)*. Ph.D. Dissertation, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2000.
- Vuillemin, B. e Nowe, M., *European Patent Office*, EP 0 749 987, 1996.
- Vuillemin, B. e Nowe, M., *United States Patent Office*, US 5 886 112, 1999.
- Wallner, J., *United States Patent Office*, US 4 702 890, 1987.
- Wallner, J., *United States Patent Office*, US 4 773 564, 1988.
- Wingard, R.D. e Leidal, S.M., *United States Patent Office*, US 4 082 512, 1978.

Porto, 5 de Abril de 2004

REIVINDICAÇÕES

1. Processo de produção de peças por Reacção, Injecção e Moldagem, **caracterizado** por ser medida dinamicamente a pressão, para avaliação da pulsação - tanto em frequência como em amplitude - a que está sujeito o regime de mistura e reacção, e consequente aferição do regime de escoamento na câmara (1) de mistura e reacção.
2. Processo conforme a reivindicação anterior, **caracterizado** por a medida dinâmica da pressão ser feita a montante dos injectores (2, 3)..
3. Processo conforme a reivindicação anterior, **caracterizado** por a medida dinâmica da pressão ser feita com recurso a um transdutor (5) de pressão diferencial, com as tomadas de pressão colocadas a montante dos injectores (2, 3).
4. Processo de produção de peças por Reacção, Injecção e Moldagem, **caracterizado** por ser introduzida artificialmente uma pulsação, com determinada frequência e amplitude impostas nos jactos dos injectores (2, 3).
5. Processo conforme a reivindicação anterior, **caracterizado** por a pulsação introduzida artificialmente ser de frequência múltipla ou submúltipla da frequência natural.
6. Processo conforme qualquer umas das reivindicações 1 a 3 e qualquer uma das reivindicações 4 a 5, **caracterizado** por ser introduzida artificialmente uma pulsação nos jactos dos injectores (2, 3) e por ser mediada a pulsação em tais jactos, resultante da

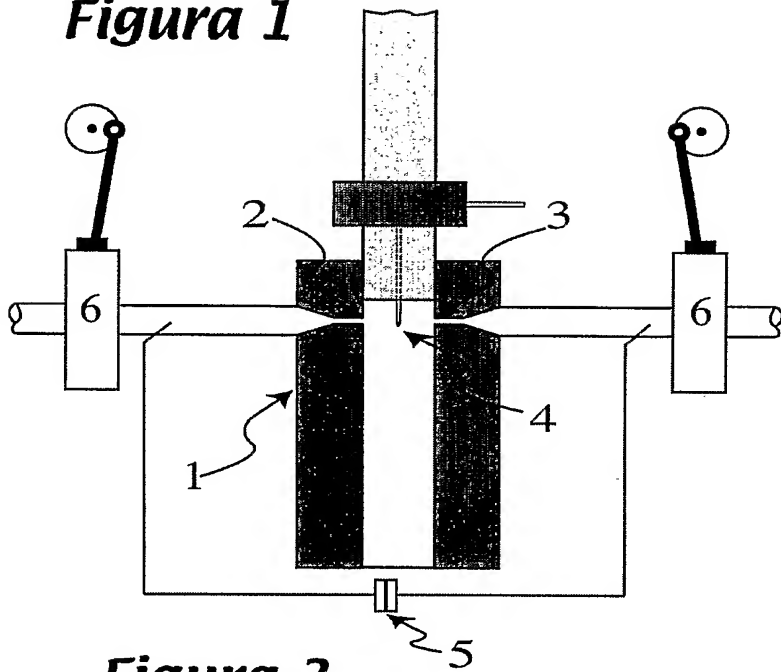
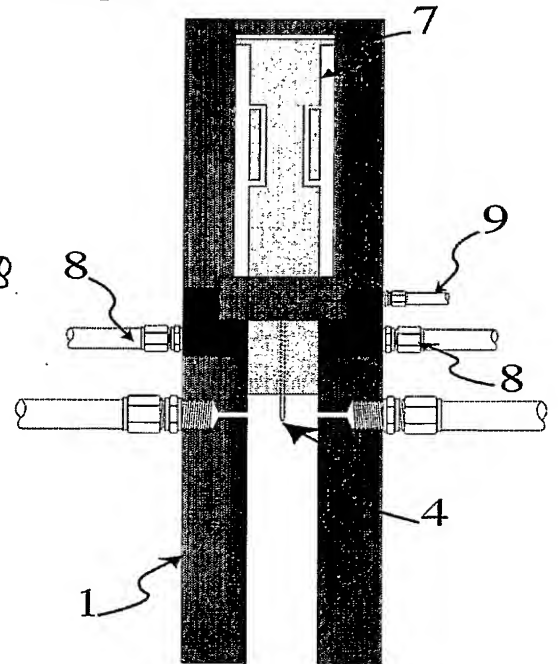
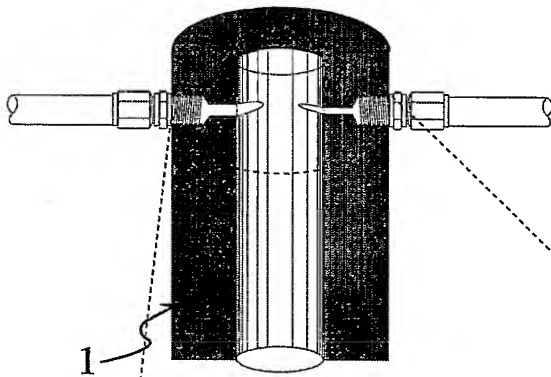
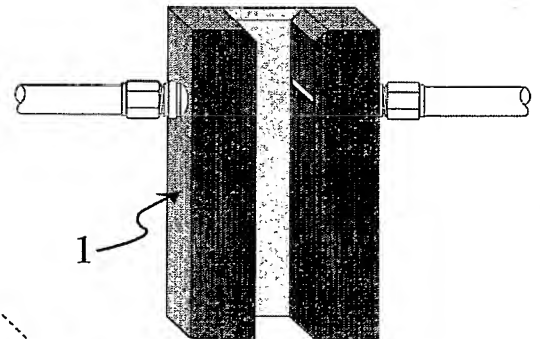
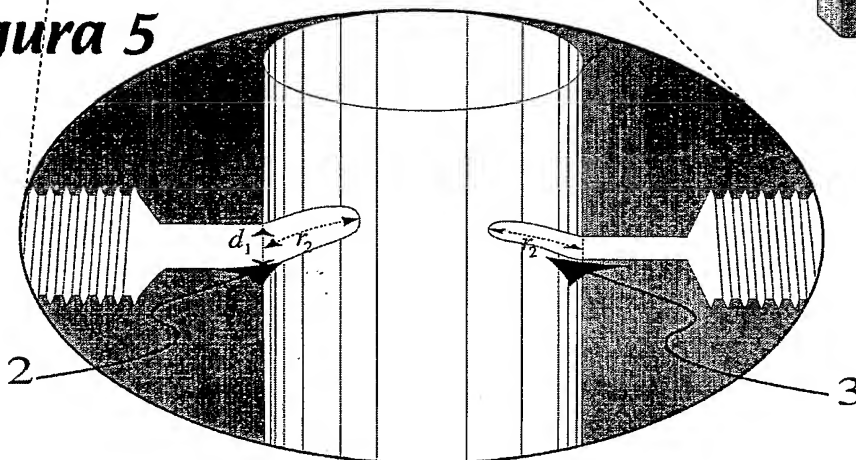
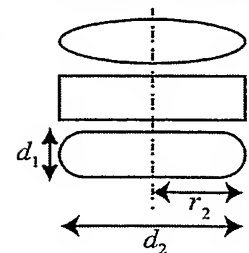
combinação da pulsação introduzida artificialmente com a pulsação natural directamente resultante do regime de mistura e reacção.

7. Processo conforme a reivindicação anterior, caracterizado por a pulsação introduzida artificialmente ser automaticamente ajustada, em frequência e ou amplitude, em função da medição dinâmica feita da pressão.
8. Máquina de produção de peças por Reacção, Injecção e Moldagem, para implementação do processo da reivindicação 1, dotada de uma câmara (1) de mistura e reacção, provida de pelo menos dois injectores opostos (2, 3), caracterizada por meios (5) de medição dinâmica da pressão.
9. Máquina de produção de peças por Reacção, Injecção e Moldagem, para implementação do processo da reivindicação 4, dotada de uma câmara (1) de mistura e reacção, provida de pelo menos dois injectores opostos (2, 3), caracterizada por meios (6) de introdução de determinada frequência e amplitude impostas nos jactos dos injectores (2, 3).
10. Máquina conforme as reivindicações 8 e 9, caracterizada por os meios (6) de introdução de uma pulsação artificial, com determinada frequência e amplitude impostas, serem influenciados pelo resultado da medição dinâmica da pressão, feita pelos meios (5).
11. Máquina conforme qualquer das reivindicações 8 a 10, caracterizada por a câmara (1) de mistura e reacção ser prismática rectangular, por os injectores opostos (2, 3) serem rectangulares, estendendo-se por toda a largura da correspondente face do prisma, e por a

abertura, d_1 , dos injectores ser regulada e/ou fixada para equalizar a energia cinética dos jactos opostos.

12. Máquina conforme qualquer das reivindicações 8 a 10, caracterizada por a câmara (1) de mistura e reacção ser cilíndrica e por os injectores opostos (2, 3) serem alongados, tendo a mesma dimensão d_2 normal ao eixo da câmara (1) e sendo a sua abertura, d_1 , regulada e/ou fixada para equalizar a energia cinética dos jactos opostos.
13. Máquina conforme qualquer das reivindicações 8 a 12, caracterizada por uma das correntes de alimentação ser injectada por um injector adicional (4) na zona dos jactos opostos.
14. Máquina conforme a reivindicação anterior caracterizada por o injector adicional (4) ser substancialmente axial relativamente à câmara (1).

Porto, 5 de Abril de 2004

Figura 1**Figura 2****Figura 3****Figura 4****Figura 5****Figura 6**

Patente de Invenção Nº 103101

Data do Pedido: 2004.04.05

Requerente(s):

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO
R. DR. ROBERTO FRIAS, SN, 4200-465 PORTO PT

JOSÉ CARLOS BRITO LOPES
R DR ROBERTO FRIAS SN, 4200 PORTO PT

Inventor(es):

JOSÉ CARLOS BRITO LOPES
R DR ROBERTO FRIAS SN, 4200- PORTO
RICARDO JORGE NOGUEIRA DOS SANTOS

ANDRÉ FERNANDO TATO MACEDO TEIXEIRA

MÁRIO RUI PINTO FERREIRA NUNES COSTA

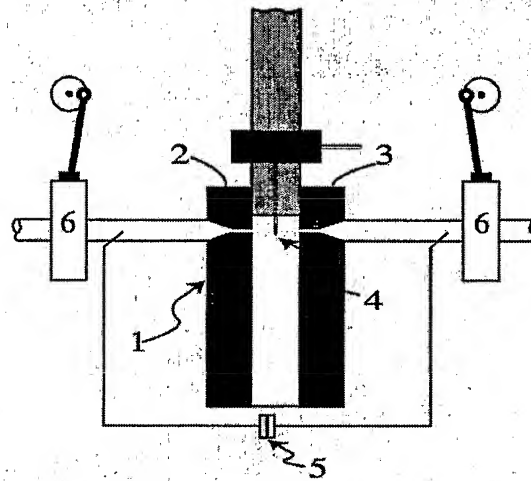
Reivindicação de Prioridade (Convenção de Paris)

Nº Pedido	Data de Pedido	País de origem

Resumo

Processo de produção de peças plásticas por reacção injecção e moldagem, e respectiva máquina

A presente invenção visa um processo e máquina RIM onde há uma câmara de mistura (1) de injectores opostos (2, 3). A eficiência é maximizada através da operação em regimes de escoamento com elevada dinâmica de mistura, o que é garantido mediante a introdução de esquemas para: aferir o regime de escoamento na câmara de mistura, pela medição dinâmica da pressão a montante dos injectores (2, 3), mediante o emprego de meios (5), e/ou forçar o escoamento a estados caóticos através da pulsação dos jactos opostos, através do emprego de meios (6). São também propostas alterações de projecto relativamente às geometrias tradicionais: da câmara de mistura (1), prevendo-se uma câmara prismática rectangular; dos injectores (2, 3), prevendo-se injectores alongados; e mesmo do esquema de injecção dos materiais, mediante o uso de um terceiro injector (4).



DESCRIÇÃO

Processo de produção de peças plásticas por reacção
injecção e moldagem, e respectiva máquina

Domínio técnico / aplicações

Esta invenção concerne um processo de produção de peças plásticas por Reacção Injecção e Moldagem (dito RIM), bem como o correspondente equipamento para fabrico de peças plásticas por moldagem, utilizando reacções de polimerização com cinéticas rápidas (poliuretanos, poliureias, silicone, poliamidas, poliésteres, polímeros vinílicos e acrílicos - ver Macosko e Lee (1978)). Este equipamento mistura os monómeros, catalizadores, iniciadores, solventes e aditivos, que iniciam uma reacção de polimerização e seguidamente são injectados num molde. O campo desta invenção é o do aumento do grau e qualidade da mistura das correntes iniciais antes de serem injectadas no molde.

O aumento da qualidade e grau da mistura, com as alterações propostas nesta patente, permite alargar o domínio desta técnica aos seguintes campos:

- produção de plásticos de qualidade óptica com aplicações em sectores como a medicina e a indústria automóvel;
- uso de polimerizações em que seja necessário misturar componentes com grandes disparidades de caudais, como o caso dum iniciador e um monómero em polimerizações aniónicas (ver Vuillemin e Nowe (1996) e Vuillemin e Nowe (1999)).

A aplicação da presente invenção não se restringe a máquinas RIM, abrangendo todo e qualquer tipo de misturador/reactor de jactos que venha a adoptar qualquer uma das soluções técnicas aqui propostas com o objectivo de aumentar o grau e a qualidade da mistura.

Estado da arte

O processo RIM, tal como utilizado na produção de poliuretanos e outros polímeros, encontra-se largamente difundido, mas os mecanismos subjacentes ao seu funcionamento são mal conhecidos. O facto do coração deste processo ser a injeção de dois jactos opostos com velocidades compreendidas entre 10 e 100 m/s, em câmaras cilíndricas com diâmetro típico de 10 mm, apresenta enormes dificuldades à compreensão e conhecimento dos mecanismos de mistura. Em contrapartida, sabe-se que a mistura influencia de forma crítica as propriedades dos polímeros produzidos no processo RIM (Kolodziej, et al. (1982) e Kolodziej, et al. (1986)). No processo RIM em condições de má mistura verifica-se a ocorrência de fenómenos como a existência de *pontos húmidos*, devido a fracções do monómero não polimerizadas, e heterogeneidade das características físicas do polímero.

Um dos factos conhecidos sobre o processo é a existência de dois regimes de escoamento distintos na câmara de mistura (Teixeira (2000) e Santos (2003)):

- Um regime onde a mistura dos dois monómeros injectados separadamente na câmara é praticamente inexistente: caracterizado pela estacionaridade do escoamento.

- Um regime de escoamento caótico, em que há formação de vórtices, que promovem a mistura dos reagentes e fortes oscilações dos jactos.

Os referidos problemas de mistura neste processo devem-se à operação do reactor em regime de escoamento estacionário, mesmo que apenas durante curtos períodos.

Sobre as condições de operação e de projecto que favoreçam a obtenção de regimes de escoamento caótico, o único facto firmemente estabelecido é que para fluidos com viscosidade acima dos 20 mPa.s e razão das energias cinéticas dos jactos igual a um, a transição entre os dois regimes ocorre a um número de Reynolds crítico, de 120 (Santos (2003)), em que o número de Reynolds é baseado nos injectores e definido como:

$$Re = \frac{\rho v_{inj} d}{\mu}$$

em que ρ e μ são a massa volúmica e a viscosidade do fluido, respectivamente, d é o diâmetro hidráulico dos injectores e v_{inj} a velocidade superficial nos injectores. Experimentalmente verificou-se que mesmo acima do número de Reynolds crítico o escoamento pode encontrar-se em estado estacionário durante curtos períodos.

Devido ao pouco conhecimento existente sobre os mecanismos de mistura e as condições que os favorecem, o projecto das câmaras de mistura para o processo RIM é baseado essencialmente na experiência do projectista e em abordagens de tentativa/erro. Algumas das tentativas para melhorar a mistura em máquinas RIM baseiam-se no acoplamento de obstáculos na câmara de mistura (ver por exemplo Wallner (1987) e Wallner (1988)). A orientação dos jactos também foi proposta por forma a aumentar a

homogeneidade da mistura à saída da câmara de mistura (ver Macosko e McIntyre (1984), Decker (1993) e Nenncker (1996)). O aumento da turbulência dos jactos foi também proposto por Reilly e Michels (1989), pela introdução de uma placa perfurada à saída dos injectores. Configurações geométricas para sistemas químicos específicos, como, por exemplo, o dos poliuretanos (ver Schulte, et al. (2001)), foram também avançadas.

Um estudo de 10 anos, efectuado na Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (Teixeira (2000) e Santos (2003)), aplicando as mais avançadas técnicas para caracterização do escoamento, permitiu o conhecimento da hidrodinâmica neste reactor e da influência dos vários factores. Neste estudo demonstrou-se a capacidade de obtenção de elevada homogeneidade da mistura dos monómeros reactivos neste processo, numa câmara sem obstáculos e de jactos opostos, tendo-se verificado, em particular, que o mecanismo de formação de vórtices determina o valor da *frequência de oscilação natural* dos jactos (ver Santos (2003)). Foi também verificado que a má mistura neste processo é principalmente devida a condições operatórias.

As conclusões do estudo hidrodinâmico estão subjacentes à presente invenção cujas principais características, contudo, só puderam ser ulteriormente determinadas, mediante a busca de meios e procedimentos concretos visando a aplicação real e a exequibilidade em ambiente industrial, bem como as simulações e ensaios correspondentes. Tal é assim, tanto para as características da máquina da invenção, designadamente a nível da configuração geométrica da câmara de mistura e/ou dos injectores, como em termos da operação do processo. Em qualquer dos casos, as características da invenção visam máquinas ou equipamentos, nomeadamente máquinas RIM, e

processos de mistura/reacção de jactos, designadamente processos de Reacção, Mistura e Injecção, que operem garantidamente em regimes de escoamento com elevada eficiência de mistura.

Descrição da invenção

De acordo com a invenção, a abordagem do problema técnico (aumento da eficiência da mistura, em grau e homogeneidade) é feita mediante o recurso à avaliação da pulsação, medindo dinamicamente a pressão, e/ou à introdução artificial de uma pulsação no escoamento - a qual se combina com a pulsação natural do escoamento em regime caótico - medição e ou introdução dessas que ocorrem preferencialmente a montante dos injectores.

Segundo a invenção, para além de concretizações do processo que recorrem individualmente a um desses modos operatórios relacionados, está prevista uma concretização que recorre a ambos em simultâneo, assim como uma outra em que a pulsação introduzida artificialmente é ajustada - em frequência e ou amplitude - por meios automáticos, em função da medição dinâmica feita da pressão.

Concretizações preferenciais preconizam o uso de transdutores de pressão diferencial, para a medição dinâmica da pressão, e o emprego, para a pulsação introduzida artificialmente, de frequências múltiplas ou sub-múltiplas da frequência natural do escoamento.

Por outro lado, a invenção respeita também a uma máquina ou equipamento para implementação do processo anteriormente descrito, estando previstos, em particular, para além de uma câmara de mistura e reacção provida de pelo menos dois injectores opostos, meios de medição

dinâmica da pressão e/ou meios de introdução de determinada frequência e amplitude impostas nos jactos dos injectores, podendo estes ter como entrada os resultados daquela medição, com vista ao ajuste automático do regime do escoamento.

Do mesmo modo, estão também previstas configurações específicas da câmara e/ou dos injectores, quanto a estes seja em termos da correspondente forma, seja do seu número e posicionamento, estando previstas, em particular, concretizações com base em dois injectores opostos associados a um injector suplementar.

Câmaras prismáticas e injectores rectangulares, assim como câmaras cilíndricas e injectores alongados segundo uma direcção transversal à do eixo da câmara, são exemplos de configurações preferenciais previstas.

Descrição dos desenhos

As figuras anexas, apresentadas a título exemplificativo e não limitativo, ilustram a máquina segundo a invenção, bem como o correspondente processo, e, em particular, algumas das suas concretizações preferenciais. Assim temos:

- **Figura 1:** Esquema duma câmara de mistura duma máquina RIM com: uma câmara de mistura e reacção, com dois injectores opostos, um terceiro injector, um transdutor de pressão e dois dispositivos para pulsação dos jactos.
- **Figura 2:** Esquema duma câmara de mistura duma máquina RIM com um pistão de limpeza, circuito de recirculação e um terceiro injector com o respectivo circuito de alimentação.

- Figura 3: Câmara de mistura cilíndrica com injectores alongados.
- Figura 4: Câmara de mistura prismática rectangular.
- Figura 5: Pormenor da câmara de mistura cilíndrica na zona dos injectores opostos.
- Figura 6: Algumas geometrias possíveis para injectores alongados.

Descrição detalhada da invenção

Seguidamente, faz-se uma descrição mais detalhada da presente invenção, com base nas citadas figuras, onde os elementos aí expressamente referenciados são:

- 1 - câmara de mistura e reacção;
- 2,3 - injectores opostos;
- 4 - terceiro injector;
- 5 - transdutor de pressão;
- 6 - meios de introdução de pulsação;
- 7 - pistão de limpeza;
- 8 - circuito de recirculação;
- 9 - circuito de alimentação do terceiro injector;
- d_1 - dimensão, do injector alongado, paralela à direcção do eixo longitudinal da câmara 1;
- d_2 - dimensão, do injector alongado, transversal à direcção do eixo longitudinal da câmara 1;

$$r_2 - d_2/2$$

A máquina segundo a presente invenção compreende, como se mostra na Figura 1, uma câmara (1) de mistura e reacção, de jactos opostos (2, 3), posicionados a uma distância do topo fechado da câmara aproximadamente igual a metade do diâmetro da câmara. A câmara de mistura e reacção é um canal em que uma das extremidades é fechada por um pistão (7), para limpeza da câmara e paragem do processo, como se mostra na Figura 2, e a outra extremidade é uma saída aberta para um molde (não representado). A invenção contém alterações aos procedimentos normalmente usados neste tipo de processo e às geometrias tradicionais, como a usada, por exemplo, em Wingard e Leidal (1978).

Segundo a invenção, propõe-se um procedimento para controlo do processo a partir da leitura dinâmica da pressão a montante dos injectores, por exemplo com um transdutor de pressão diferencial (5), como esquematizado na Figura 1. Como a formação de vórtices com oscilação dos jactos não ocorre em regime de escoamento estacionário, a leitura dinâmica da pressão permite determinar em que regime se encontra o escoamento no interior da câmara (1).

Propõe-se também a pulsação dos jactos através da indução de uma frequência de oscilação do caudal dos jactos. A indução de oscilações nos jactos permite operar o reactor garantidamente a regimes de escoamento associados a uma alta eficiência de mistura.

Propõe-se ainda, a título preferencial, a indução de oscilações dos jactos com frequências múltiplas da *frequência de oscilação natural* dos jactos, que forcem a formação de vórtices de menores dimensões, permitindo redução das escalas da mistura.

Os reactores tradicionais de jactos opostos apresentam graves deficiências operatórias para reacções em que as razões de caudais dos reagentes são demasiado díspares, como, por exemplo, no caso das polimerizações aniónicas, em que o monómero é misturado com um iniciador. Com o objectivo de alargar a gama de aplicações destes reactores, propõe-se, segundo a invenção, que: para razões de caudais entre as correntes de alimentação superiores a 10, o reagente com maior caudal, seja injectado em iguais quantidades por cada um dos injectores opostos (2 e 3); e o reagente com menor caudal seja introduzido por um terceiro injector (4). O terceiro injector deverá estar localizado na região de impacto dos jactos opostos. As Figuras 1 e 2 apresentam um esquema para implementação desta proposta, em que um dos reagentes é dividido pelos dois injectores opostos e o outro injectado no ponto de impacto dos jactos opostos.

De acordo com a invenção, propõe-se também uma alteração à geometria da câmara (1), para uma câmara prismática rectangular, Figura 4, com dois injectores (2, 3) opostos que se prolongam ao longo de toda a largura da face da câmara (1), ou seja, da dimensão cuja direcção é ortogonal à do eixo longitudinal da dita câmara. Para esta geometria a equalização da energia cinética dos jactos opostos faz-se pela razão das aberturas dos injectores, d_1 , Figura 6.

Por outro lado, para o caso das câmaras cilíndricas, propõe-se a utilização de injectores (2, 3) alongados na direcção normal ao eixo da câmara de mistura, como se pode ver na Figura 5, em substituição dos tradicionais injectores circulares. Algumas configurações geométricas para injectores (2, 3) alongados são apresentadas na Figura 6.

Os injectores (2, 3) alongados devem estar centrados e alinhados, e ter a mesma dimensão d_2 ($r_2=d_2/2$), no sentido normal ao eixo da câmara (1), ver Figuras 5 e 6. Para equalizar a energia cinética dos jactos é alterada a dimensão do injector com a mesma direcção do eixo da câmara de mistura, d_1 .

Inovação e vantagens do invento

Os regimes de escoamento caótico estão associados a fortes oscilações dos jactos, com frequências típicas que dependem da geometria da câmara e do caudal de injeção. As oscilações dos jactos provocam flutuações da pressão nos injectores, pelo que a leitura da pressão a montante dos injectores, e a determinação da frequência das suas oscilações, podem ser usadas para aferir o regime de escoamento em que o reactor se encontra a operar. A aferição do regime de escoamento permite corrigir as condições operatórias do processo, que são a principal causa da ocorrência de regimes de escoamento estacionário na câmara (1) de mistura e reacção, mesmo para números de Reynolds superiores ao número de Reynolds crítico.

A alimentação pode também ser pulsada por forma a forçar as oscilações do escoamento garantindo a operação do reactor com alta eficiência de mistura, ou seja, em regime de escoamento caótico. A pulsação dos jactos também promove a eliminação dos períodos transientes de escoamento estacionário que se observam experimentalmente.

Usando múltiplos da frequência de oscilação natural dos jactos é possível quebrar as estruturas típicas do escoamento reduzindo as escalas da mistura e consequentemente aumentando a homogeneidade da mistura.

Em certas aplicações as razões entre reagentes são demasiado díspares para a utilização deste misturador. A injeção do reagente com maior caudal, igualmente distribuído pelos dois jactos opostos, permite obter um escoamento com uma forte dinâmica de mistura, no seio do qual é injectado o reagente de menor caudal. A injeção é feita no ponto de impacto dos jactos onde a dinâmica do escoamento é mais forte. Este esquema permite uma grande homogeneidade do escoamento pelo que os tamanhos das macromoléculas no final do processo devem apresentar uma distribuição muito estreita, logo um material final com grande homogeneidade de características.

A divisão dum dos reagente pelos injectores opostos, com o balanceamento perfeito das condições em ambos os injectores, permite garantir a operação do reactor em regime caótico a números de Reynolds acima dos 120. Adicionalmente a diferença de pressões entre os injectores opostos é anulada, o que permite: dispensar os restritores de caudal; e operar o processo a baixas pressões.

As câmaras de mistura e reacção prismáticas rectangulares com a configuração proposta na presente invenção, apresentam as seguintes vantagens, quando comparadas com câmaras cilíndricas de injectores circulares:

- Para o mesmo número de Reynolds baseado nos injectores a câmara prismática proposta apresenta menores tempos de passagem do fluido e mais rápido enchimento do molde. A diminuição do tempo de passagem e do tempo de enchimento do molde permite que o grau de conversão do polímero durante o processo seja menor, logo a viscosidade é menor. A operação a mais baixas viscosidades é vantajosa para o enchimento do molde;

Em certas aplicações as razões entre reagentes são demasiado díspares para a utilização deste misturador. A injeção do reagente com maior caudal, igualmente distribuído pelos dois jactos opostos, permite obter um escoamento com uma forte dinâmica de mistura, no seio do qual é injectado o reagente de menor caudal. A injeção é feita no ponto de impacto dos jactos onde a dinâmica do escoamento é mais forte. Este esquema permite uma grande homogeneidade do escoamento pelo que os tamanhos das macromoléculas no final do processo devem apresentar uma distribuição muito estreita, logo um material final com grande homogeneidade de características.

A divisão dum dos reagente pelos injectores opostos, com o balanceamento perfeito das condições em ambos os injectores, permite garantir a operação do reactor em regime caótico a números de Reynolds acima dos 120. Adicionalmente a diferença de pressões entre os injectores opostos é anulada, o que permite: dispensar os restritores de caudal; e operar o processo a baixas pressões.

As câmaras de mistura e reacção prismáticas rectangulares com a configuração proposta na presente invenção, apresentam as seguintes vantagens, quando comparadas com câmaras cilíndricas de injectores circulares:

- Para o mesmo número de Reynolds baseado nos injectores a câmara prismática proposta apresenta menores tempos de passagem do fluido e mais rápido enchimento do molde. A diminuição do tempo de passagem e do tempo de enchimento do molde permite que o grau de conversão do polímero durante o processo seja menor, logo a viscosidade é menor. A operação a mais baixas viscosidades é vantajosa para o enchimento do molde;

- Os injectores rasgados ao longo de toda a largura da face também permitem que uma maior região da câmara de mistura seja ocupada pelo impacto dos jactos opostos, que é o mecanismo que origina toda a dinâmica de mistura nestes reactores (ver Teixeira, 2000);
- A configuração proposta para a câmara de mistura prismática, apresenta, para o mesmo número de Reynolds baseado nos injectores, números de Reynolds na câmara de mistura mais altos, logo expandindo as regiões de mais forte dinâmica do escoamento (ver Teixeira, 2000 e Santos, 2003);
- O facto de os injectores não serem circulares permite que ao serem alterados para equalização da energia cinética dos jactos opostos se mantenha a zona de impacto dos jactos ao longo de toda a linha d_2 do injector.

Neste escoamento os vórtices têm um eixo de rotação perpendicular ao plano definido pelo eixo da câmara de mistura e pelo centro dos injectores. A câmara prismática rectangular tem paredes normais ao eixo de rotação dos vórtices, o que impede o crescimento dos vórtices pelo mecanismo de *vortex stretching*. O mecanismo de *vortex stretching* é responsável pela dissipação dos vórtices, pelo que a anulação deste mecanismo permite que os vórtices se mantenham em evolução na câmara até zonas mais afastadas do ponto de impacto dos jactos. Como os vórtices são o principal mecanismo de mistura, a câmara prismática promove o aumento da dinâmica de mistura relativamente às câmaras cilíndricas.

A introdução de injectores alongados em câmaras de mistura cilíndricas pode apresentar algumas das vantagens das

câmaras de mistura prismáticas rectangulares relativamente às câmaras cilíndrica de injectores circulares:

- Menores valores de tempo de passagem para o mesmo número de Reynolds baseado nos injectores;
- Maior percentagem do volume da câmara ocupada pela zona de impacto dos jactos;
- Maiores números de Reynolds na câmara de mistura, para o mesmo valor do número de Reynolds baseado nos injectores.

Bibliografia

- Decker, H.W., *United States Patent Office*, US 5 270 013, 1993.
- Kolodziej, P., Macosko, C.W. e Ranz, W.E., *Polymer Engineering and Science*, 1982, 22, 388-392.
- Kolodziej, P., Yang, W.P., Macosko, C.W. e Wellinghoff, S.T., *Journal of Polymer Science*, 1986, 24, 2359-2377.
- Macosko, C.W. e Lee, L.J., *United States Patent Office*, US 4 189 070, 1978.
- Macosko, C.W. e McIntyre, D.B., *United States Patent Office*, US 4 473 531, 1984.
- Nenncker, G.H., *United States Patent Office*, US 5 498 151, 1996.
- Reilly, B.J. e Michels, R., *United States Patent Office*, US 4 840 556, 1989.
- Santos, R.J. *Mixing Mechanisms in Reaction Injection Moulding. An LDA/PIV Experimental Study and CFD Simulation*. PhD Dissertation, Universidade do Porto, Porto, 2003.

- Schulte, K., Krippel, K., Friederichs e Weber, H.U., *United States Patent Office*, US 6 297 342, 2001.
- Teixeira, A.M. *Escoamento na Cabeça de Mistura de uma Máquina RIM (Flow in a RIM Machine Mixing Head)*. Ph.D. Dissertation, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2000.
- Vuillemin, B. e Nowe, M., *European Patent Office*, EP 0 749 987, 1996.
- Vuillemin, B. e Nowe, M., *United States Patent Office*, US 5 886 112, 1999.
- Wallner, J., *United States Patent Office*, US 4 702 890, 1987.
- Wallner, J., *United States Patent Office*, US 4 773 564, 1988.
- Wingard, R.D. e Leidal, S.M., *United States Patent Office*, US 4 082 512, 1978.

Porto, 7 de Maio de 2004

REIVINDICAÇÕES

1. Processo de produção de peças por Reacção, Injecção e Moldagem, **caracterizado** por ser medida dinamicamente a pressão, para avaliação da pulsação - tanto em frequência como em amplitude - a que está sujeito o regime de mistura e reacção, e consequente aferição do regime de escoamento na câmara (1) de mistura e reacção.
2. Processo conforme a reivindicação anterior, **caracterizado** por a medida dinâmica da pressão ser feita a montante dos injectores (2, 3).
3. Processo conforme a reivindicação anterior, **caracterizado** por a medida dinâmica da pressão ser feita com recurso a um transdutor (5) de pressão diferencial, com as tomadas de pressão colocadas a montante dos injectores (2, 3).
4. Processo de produção de peças por Reacção, Injecção e Moldagem, **caracterizado** por ser introduzida artificialmente uma pulsação, com determinada frequência e amplitude impostas nos jactos dos injectores (2, 3).
5. Processo conforme a reivindicação anterior, **caracterizado** por a pulsação introduzida artificialmente ser de frequência múltipla ou submúltipla da frequência natural.
6. Processo conforme qualquer umas das reivindicações 1 a 3 e qualquer uma das reivindicações 4 a 5, **caracterizado** por ser introduzida artificialmente uma pulsação nos jactos dos injectores (2, 3) e por ser medida a pulsação em tais jactos, resultante da

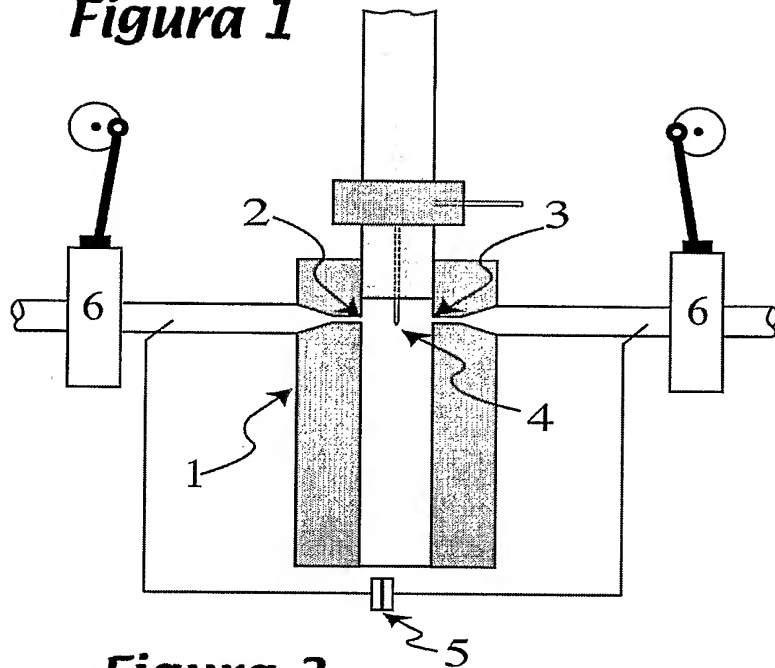
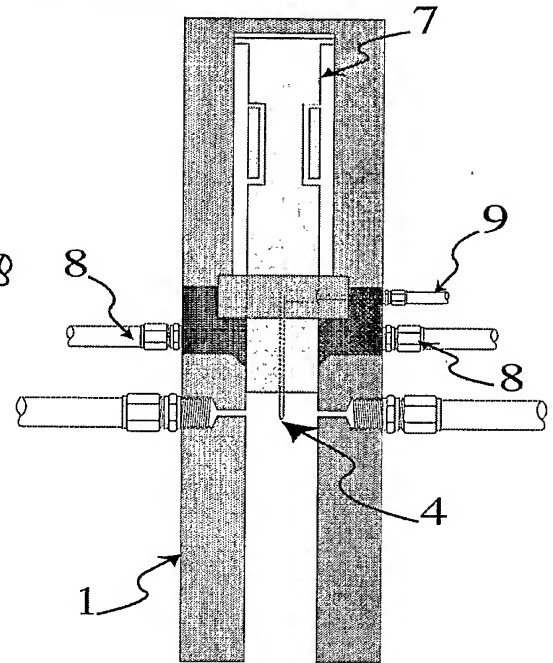
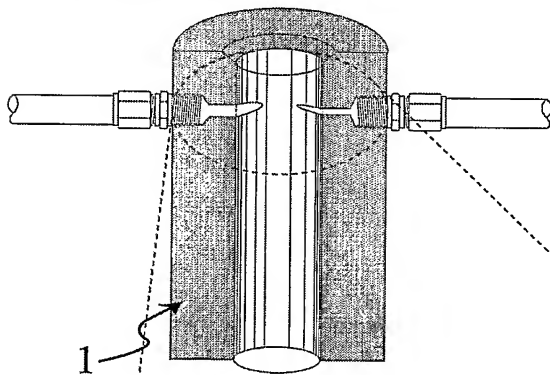
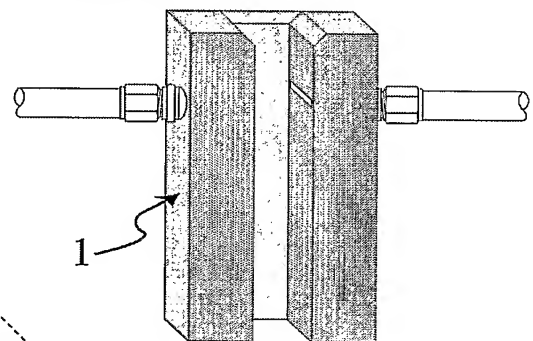
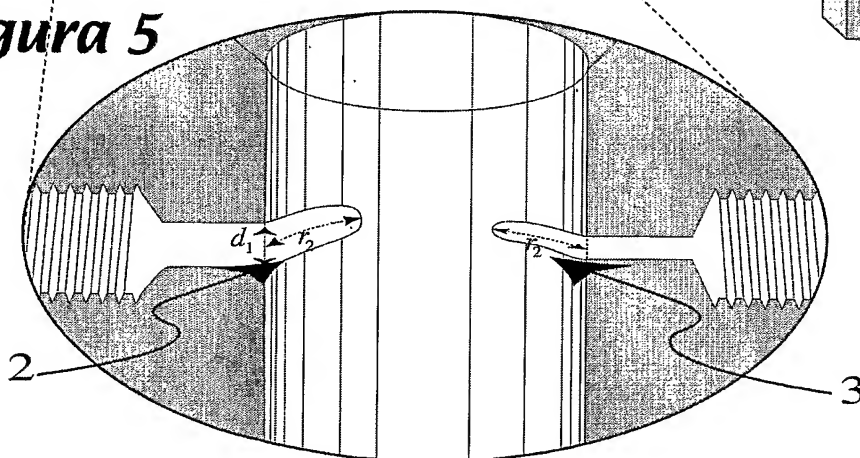
combinação da pulsação introduzida artificialmente com a pulsação natural directamente resultante do regime de mistura e reacção.

7. Processo conforme a reivindicação anterior, caracterizado por a pulsação introduzida artificialmente ser automaticamente ajustada, em frequência e ou amplitude, em função da medição dinâmica feita da pressão.
8. Máquina de produção de peças por Reacção, Injecção e Moldagem, para implementação do processo da reivindicação 1, dotada de uma câmara (1) de mistura e reacção, provida de pelo menos dois injectores opostos (2, 3), caracterizada por meios (5) de medição dinâmica da pressão.
9. Máquina de produção de peças por Reacção, Injecção e Moldagem, para implementação do processo da reivindicação 4, dotada de uma câmara (1) de mistura e reacção, provida de pelo menos dois injectores opostos (2, 3), caracterizada por meios (6) de introdução de determinada frequência e amplitude impostas nos jactos dos injectores (2, 3).
10. Máquina conformé as reivindicações 8 e 9, caracterizada por os meios (6) de introdução de uma pulsação artificial, com determinada frequência e amplitude impostas, serem influenciados pelo resultado da medição dinâmica da pressão, feita pelos meios (5).
11. Máquina conforme qualquer das reivindicações 8 a 10, caracterizada por a câmara (1) de mistura e reacção ser prismática rectangular, por os injectores opostos (2, 3) serem rectangulares, estendendo-se por toda a largura da correspondente face do prisma, e por a

abertura, d_1 , dos injectores ser regulada e/ou fixada para equalizar a energia cinética dos jactos opostos.

12. Máquina conforme qualquer das reivindicações 8 a 10, caracterizada por a câmara (1) de mistura e reacção ser cilíndrica e por os injectores opostos (2, 3) serem alongados, tendo a mesma dimensão d_2 normal ao eixo da câmara (1) e sendo a sua abertura, d_1 , regulada e/ou fixada para equalizar a energia cinética dos jactos opostos.
13. Máquina conforme qualquer das reivindicações 8 a 12, caracterizada por uma das correntes de alimentação ser injectada por um injector adicional (4) na zona dos jactos opostos.
14. Máquina conforme a reivindicação anterior caracterizada por o injector adicional (4) ser substancialmente axial relativamente à câmara (1).

Porto, 7 de Maio de 2004

Figura 1**Figura 2****Figura 3****Figura 4****Figura 5****Figura 6**